

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧНОСТИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ ТРАНСМИССИИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.В. Рылеев, Е.А. Бураков

Излагается метод прогнозирования цикличности переключения передач в трансмиссиях транспортных машин, при котором движение рассматривается как непрерывный случайный процесс. Показана особенность применения аппарата марковских процессов для многомерной системы. Приводится пример прогнозирования цикличности переключения передач и предлагаются меры по ее снижению при автоматическом управлении поступательной скоростью движения транспортной машины.

Обеспечение долговечности фрикционных элементов управления переключением передач трансмиссий транспортных машин во многом определяется цикличностью их включения. Существующие методы прогнозирования цикличности [1, 2] базируются на экспериментальных данных для ранее спроектированных машин и не позволяют учесть потенциальные свойства проектируемых машин, условия эксплуатации и др. Анализ экспериментальных данных показывает, что действительное число переключений гораздо выше расчетного значения, оно зависит от интенсивности изменения сопротивления движению, имеющего случайный характер, квалификации водителя и до пяти раз возрастает при автоматизации управления поступательной скоростью машины.

Статья посвящена разработке метода прогнозирования цикличности переключения с позиции вероятностного и случайного характера процессов, при рассмотрении движение машины как непрерывного марковского процесса. Такой подход позволяет по виду математической модели движения эффективно определить плотность вероятностей с использованием дифференциального уравнения Фокера-Планка-Колмогорова (ФПК).

В теории марковских процессов [3] и статистической динамики транспортных машин [4] показано, что процессы в динамической системе являются марковскими, если соблюдаются следующие три условия.

1. Поведение системы в будущем не зависит от прошлого, т. е. скорость движения является случайной функцией без последствия.

2. Движение по координате x описывается дифференциальным уравнением первого порядка в виде

$$\dot{x} + Q(x) = y(t),$$

где $Q(x)$ – в общем случае нелинейная функция координаты x .

3. Входное возмущение $y(t)$ является центрированной стационарной δ -корреляционной функцией случайного процесса, т. е. корреляционная функция входного возмущения имеет вид $K(\tau) = 0,5N_0\delta(\tau)$, где $0,5N_0$ – интенсивность δ -функции в точке $\tau = 0$.

Первые два условия для математической модели управляемого поступательного движения машины выполняются, так как уравнение может быть представлено в форме:

$$\dot{v} - g\delta_i^{-1}f_D(v, \alpha_{PT}) = g\delta_i^{-1}f_C(t), \quad (1)$$

где v, \dot{v} – скорость и ускорение машины; δ_i – коэффициент учета вращающихся масс на i -й передаче; f_D, f_C – удельная сила тяги и коэффициент сопротивления движению соответственно; α_{PT} – положение педали подачи топлива.

Однако третье условие не выполняется, так как δ -корреляционная функция случайного процесса соответствует постоянной спектральной плотности – «белому шуму» во всем интервале частот $S(\omega) = 0,5N_0$, а дисперсия «белого шума» стремится к бесконечности, что противоречит физическому представлению реальных процессов.

Внешнее возмущение, как правило, описывается гауссовскими процессами в узкополосном спектре, а спектральная плотность аппроксимируется дробно-рациональной функцией

$$S_y(\omega) = 4\sigma^2 y \alpha \frac{\alpha^2 + \omega^2}{[\omega^2 - (\alpha^2 + \beta^2)] + 4\alpha^2 \omega^2},$$

которой соответствует дважды дифференцируемая корреляционная функция

$$K_k(\tau) = \sigma_k^2 \exp(-\alpha|\tau|) \left(\cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta \cdot |\tau| \right),$$

где α и β – параметры функций.

В связи с этим для использования аппарата марковских процессов исследуемая система расширяется последовательным присоединением динамического звена с квадратом модуля передаточной функции

$$|W(\omega)|^2 = \frac{S_y(\omega)}{0,5N_0}.$$

В работе [5] показано, что вышеприведенная функция с присоединенным динамическим звеном описывается дифференциальным уравнением второго порядка

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\alpha \frac{dy}{dt} + (\alpha^2 + \beta^2)y = n(t).$$

Соответственно порядок исходного дифференциального уравнения (1) повышается на два порядка. При введении фазовых координат $\dot{x}_1 = x_2$, $\dot{x}_2 = x_3$, $\dot{x}_3 = f(\dot{v})$ уравнение приводится к трем уравнениям первого порядка в нормальной форме Коши, т. е. происходит преобразование исходного уравнения в многомерный вектор. Для использования аппарата марковских процессов необходимо, чтобы по крайней мере одна из компонент вектора многомерной системы была марковской. По виду полученного уравнения представляется возможным составить уравнения ФПК относительно неизвестной совместной плотности вероятностей случайных функций [4].

Задача прогноза цикличности сводится к расчету числа пересечений скорости, как случайной функции $v(s)$ пути s некоторого заданного уровня v_i ($i=1, \dots, n$) – максимального значения скорости на i -й передаче. Число переключений передач на единицу пути определяется как число положительных выбросов случайной стационарной функции $v(s)$ за уровень v_i , которое определяется по уравнению [3]:

$$N_S(v_i) = \int_0^{\infty} \dot{v}_s \cdot \varphi_S(v_i, \dot{v}_i) dv,$$

где $\varphi_S(v_i, \dot{v}_i)$ – плотность вероятности функции $v(s)$ и ее производной $\dot{v}_i(s)$.

При движении гусеничной машины в характерных условиях скорость ограничивается тяговыми свойствами, плавностью хода и управляемостью, а реализация удельной силы тяги осуществляется по внешним, регуляторным и тормозным характеристикам, которые нелинейны. В.А. Савочкин предложил линеаризацию этих функций относительно переменной удельной кинетической энергии T ($T = 0,5v^2$) [4]. С учетом этого число переключений передач при действии тяговых ограничений скорости составляет

$$N_i(T_i) = \frac{\lambda_{Ti} \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{Ti}} \cdot \exp\left(-\frac{(T_i - m_{Ti})^2}{2 \cdot \sigma_{Ti}^2}\right) \text{ переключений на километр,}$$

где m_{Ti} , σ_{Ti} – числовые характеристики функции распределения удельной кинетической энергии T движения машины на i -й передаче; λ_{Ti} – параметр функции распределения производной \dot{T}_i .

Ниже приводится пример прогнозирования числа переключений передач с линеаризованной зависимостью $f_D(T) = a_i - b_i T$, показанной на рис. 1: в табл. 1 приведены основные параметры линеаризованной характеристики, в табл. 2 – результаты прогнозирования в условиях, когда корреляционная функция коэффициента сопротивления движению определяется уравнением

Расчет и конструирование

$K_{fc}(\tau_s) = \sigma_{fs}^2 \exp(-\alpha(\tau_s))$ при следующих значениях параметров: $m_{fc} = 0,15$, $\sigma_{fc}^2 = -0,0016$, $\alpha = 0,005 \text{ м}^{-1}$.

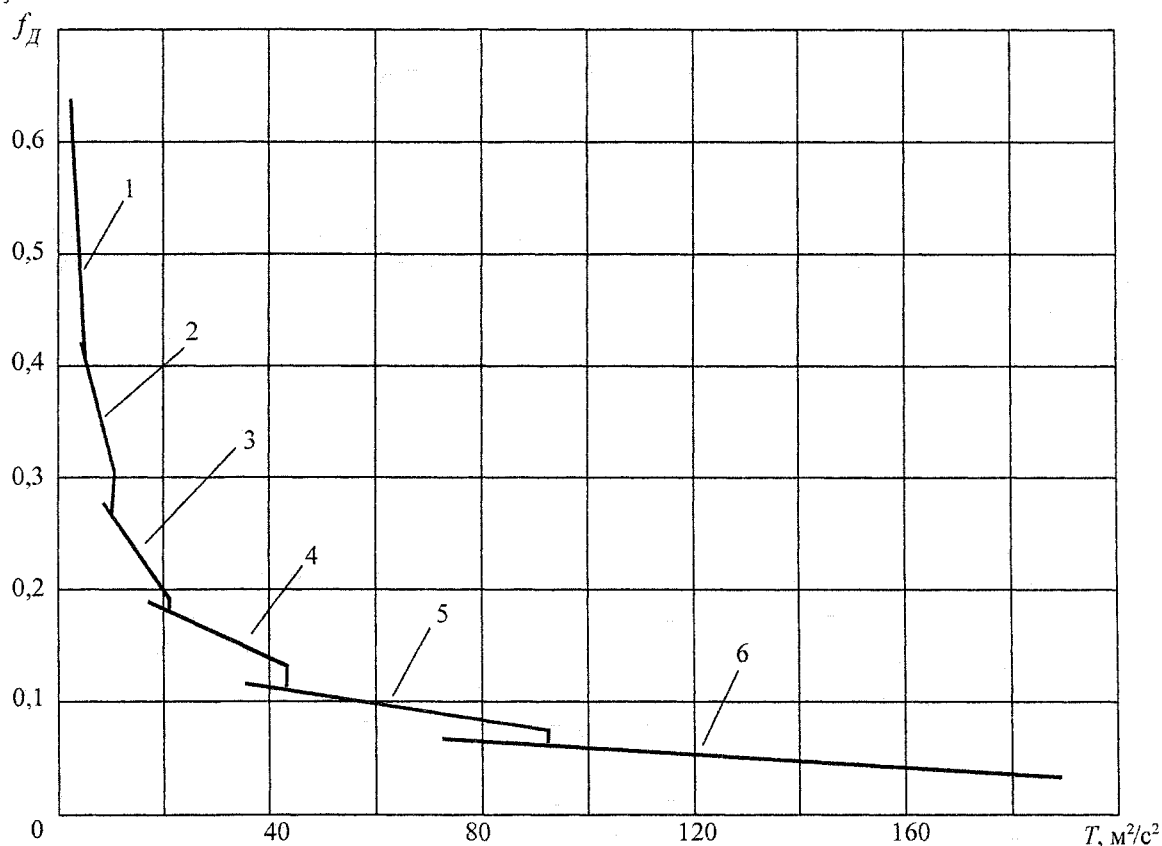


Рис. 1. Линейаризованная зависимость удельной силы тяги гусеничной машины от удельной кинетической энергии (1,..., 6 – номера передач)

Из результатов расчета следует, что число переключений достаточно велико. Данная оценка относится к числу переключения с низшей передачи на высшую. При учете ограничений по плавности хода и управляемости эта величина существенно увеличивается. В связи с этим рассматривается возможность сокращения их числа.

Таблица 1

Основные параметры линейаризованной характеристики

Номер передачи		1	2	3	4	5	6
Коэффициенты линейаризация	a	0,741	0,493	0,331	0,227	0,144	0,089
	$b, \text{ с}^2/\text{м}^2$	0,062	0,020	0,007	0,002	0,0008	0,0003
Коэффициент учета вращающихся масс δ_i		3,580	2,365	1,800	1,551	1,424	1,366

Таблица 2

Результаты прогнозирования среднего числа переключения передач для быстроходной гусеничной машины

Параметры	Номер передачи (направление переключения)				
	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6
$m_{Ti}, \text{ м}^2/\text{с}^2$	9,596	17,271	25,747	34,222	-7,895
$\sigma_{Ti}, \text{ м}^2/\text{с}^2$	0,64	1,956	5,351	15,292	37,636
$\lambda_{Ti}, \text{ м}^2/\text{с}^2$	0,019	0,04	0,074	0,129	0,193
$N_i(T_i), \text{ км}^{-1}$	0,025	1,568	1,221	1,169	0,253

Законы автоматического переключения построены по статическим характеристикам так, чтобы при равенстве удельных силы тяги и сопротивления $f_D = f_C$ происходило переключение.

Однако при движении с допустимым кратковременным замедлением \dot{v}_3 временные перегрузки могут быть преодолены кинетической энергией гусеничной машины. Из основного уравнения движения машины (1) нетрудно установить, что условием движения является $f_D + \frac{\dot{v}_3 \delta}{g} \geq f_C$.

Однако продолжительность использования кинетической энергии ограничена. Наибольшая длительность t_{\max} , в течение которой можно преодолеть повышенное сопротивление движению, оп-

ределяется по уравнению [6] $\int_0^t dt = \frac{\delta_i}{g \cdot f_C} \cdot \int_{\Delta v} dv$, где Δv – допускаемое снижение скорости в про-

цессе переключения.

Из этих уравнений следует, что длительность t_{\max} может быть увеличена двумя путями:

- увеличением диапазона угловой скорости двигателя, определяющего пределы интегрирования, т. е. применении высокооборотных двигателей с низкой устойчивой частотой вращения;
- разъединением двигателя с трансмиссией при замедленном движении в процессе преодоления перегрузок.

В первом случае в определенной степени снижаются скоростные качества. Во втором случае двигатель не глохнет, но длительность ограничивается предельно допустимой скоростью движения. Для количественной оценки возможности уменьшения числа переключений необходимо определить случайную протяженность отрезка пути между последовательными моментами изменения сопротивления движению и величину этого изменения (колебательные свойства случайной величины $f_C(s)$).

Другим путем сокращения числа нерациональных переключений является создание полуавтоматического режима переключения передач, при котором реализуются такие свойства водителя как предвидение и прогнозирование ситуации [6]. Электронная система управления на основе сигналов датчиков определяет номер передачи, обеспечивающий наилучший режим работы моторно-трансмиссионной установки в данных условиях движения. Номер этой передачи, как рекомендуемой, высвечивается на дисплее водителя в мигающем режиме. Номер включенной передачи находится в режиме постоянного свечения. Водитель, анализируя дорожную обстановку и прогнозируя дальнейшее ее развитие, принимает решение переключиться на рекомендуемую передачу или двигаться на ранее включенной передаче. Если водитель считает нецелесообразным переход на рекомендуемую передачу (например, при движении на спуске, за которым начинается подъем), то переключение не происходит. При таком управлении исключается цикличность и снижается число переключений.

Литературы

1. Зальцерман, КМ. Фрикционные муфты и тормоза гусеничных машин / КМ. Зальцерман, Д.М. Каминский, А.Д. Оношко. - М.: Машиностроение, 1965. - 240 с.
2. Тарасик, В.П. Фрикционные муфты автомобильных гидромеханических коробок передач / В.П. Тарасик. - Минск: Наука и техника, 1973. - 216 с.
3. Тихонов, В.И. Марковские процессы / В.К. Тихонов, М.А. Миронов. - М.: Сов. радио, 1977. - 488 с.
4. Савочкин, В.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин / В.А. Савочкин, А.А. Дмитриев. - М.: Машиностроение, 1993. - 320 с.
5. Стратонович, Р.Л. Кэбранные вопросы теории флуктуации в радиотехнике / Р.Л. Стратонович. - М.: Сов. радио, 1961. - 557 с.
6. Держанский, В.Б. Адаптивное управление переключением передач гидромеханической трансмиссии на основе мониторинга технического состояния и режимов функционирования / В.Б. Держанский, К.А. Тараторкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». - 2005. - Вып. 7. - № 14(54). - С. 75-84.